



广州港南沙四期工程轨道地基处理

张 轩, 郝志斌, 林沛生

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 广州港南沙港区四期工程采用自动化轨道式龙门起重机(ARMG), ARMG 对地基基础的要求较高。由于原状软土厚度较大, 大面积真空预压处理的地基不能满足使用要求, 需要对轨道地基进行二次处理。结合工程地质条件和 ARMG 使用要求, 通过方案比选, 采用水泥搅拌桩复合地基对轨道进行二次地基处理。堆场区轨道基础采用钢筋混凝土地基梁结构+水泥搅拌桩复合地基, 过路段轨道基础采用钢筋混凝土轨道板结构+水泥搅拌桩复合地基。钢筋混凝土地基梁+水泥搅拌桩复合地基方案可以满足轨道的使用要求, 造价较低、过路段差异沉降较小。

关键词: 自动化轨道式龙门起重机(ARMG); 地基处理; 水泥搅拌桩; 沉降

中图分类号: U 656+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)10-0120-04

Rail foundation treatment in the Guangzhou Port Nansha phase IV

ZHANG Xuan, HAO Zhi-bin, LIN Pei-sheng

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: Automated Rail Mounted Gantry(ARMG) is adopted in the Guangzhou Port Nansha phase IV, and ARMG has higher requirements for foundation. Due to the large thickness of undisturbed soft soil, the foundation treated with large-area vacuum preloading cannot meet the requirements for use, and secondary treatment of the rail foundation is required. Combined with the geological condition and the use requirements of ARMG, through the comparison of selection of plans, the composite foundation of cement mixing piles is used for the secondary foundation treatment of the rail. The reinforced concrete foundation beam structure + the composite foundation of cement mixing piles is adopted in the yard area rail foundation. The reinforced concrete rail slab structure + cement mixing pile composite foundation is adopted in the rail foundation in the crossing section. The reinforced concrete foundation beam + cement mixing pile composite foundation scheme can meet the use requirements of the rail with low cost and small differential settlement in the crossing section.

Keywords: automation rail mounted gantry(ARMG); ground treatment; cement mixing pile; settlement

集装箱码头堆场的作业机械主要有两种形式, 即轨道式龙门起重机(RMG)和轮胎式龙门起重机(RTG)。

广州港南沙港区普遍分区有深厚软土层, 大多采用排水固结法进行大面积地基处理, 堆场区工艺设备一般为轮胎式龙门吊(RTG), 采用轨道梁条形扩大基础; 南沙四期工程设计为自动化集装箱码头, 传统的轮胎式龙门吊不能满足自动化

码头的使用要求, 堆场区工艺设备采用自动化轨道式龙门起重机(ARMG)。ARMG 具有可靠性高、维护工作量小、运行速度快、易于实现自动化等优点, 可以大大提高堆场区域的装卸作业效率, 但是对地基基础的沉降要求高, 一般的大面积地基处理不能满足设备对地基的要求。本文结合南沙四期工程设计情况, 通过分析对比, 选择了合理的轨道地基基础二次处理方案。

1 设计条件

1.1 场地条件

广州港南沙港区四期工程原始地形为滩涂和水塘, 上覆土层主要为海陆交互沉积的淤泥和淤泥质软土层, 堆场陆域通过吹填港池航道疏浚土形成, 软土总厚度约 15 m。大面积地基处理采用插塑料排水板+真空预压法, 经过预压处理后, 场地的工后沉降、差异沉降、地基承载力可以满足一般堆场、道路的使用要求, 但是不能满足轨道荷载的使用要求。需要结合场地实际情况, 选择合理的轨道地基基础方案。

1.2 设计标准

结合实际情况, 本工程采用了堆场平行于海轮码头岸线布置的方案, 水平运输方式与传统集装箱堆场相同, 堆场区工艺设备采用自动化轨道式龙门起重机(ARMG), 堆场区的集装箱龙门起重机与港内道路的水平交叉较多。轨道地基基础方案需要考虑轨道本身对承载力、沉降和不均匀沉降要求较高的特点, 还要综合考虑过路段轨道地基基础与两侧道路结构的刚度和沉降差异。因此需要采用合适的方案来满足轨道的承载力和沉降要求, 确保轨道地基基础正常使用; 并控制好过路段轨道与道路的差异沉降, 确保轨道与道路衔接处不出现跳车现象。

根据相关规范^[1-2], 轨道工后沉降可按 10 cm 作为控制标准, 轨道与道路的差异沉降可按 5 cm 作为控制标准。

1) 荷载条件。自动化轨道式龙门起重机(ARMG)跨距 31 m, 4 腿, 4 个轮/腿, 轮距 1.05 m 和 1.35 m, 基距 17 m。工作状态(20 m/s)下最大轮压 $P=360$ kN, 非工作状态(70 m/s)下最大轮压 $P=455$ kN。钢轨采用明轨。

2) 沉降要求。轨道基础区域使用期沉降不大于 10 cm, 轨道基础沿线的差异沉降应小于 0.1%。

2 轨道地基基础方案选型

2.1 3 种轨道地基基础方案

我国大型集装箱码头堆场主要分布在沿海和

长江沿线, 普遍覆盖深厚软土, 即使经过地基处理, 在车辆荷载的反复作用下地基土的塑性变形易累积, 软土层本身会产生一定的次固结沉降, 导致较大的工后沉降, 不能满足轨道结构的使用要求。当大面积地基处理不能满足轨道结构的使用要求时, 需要对轨道地基进行二次处理。常用的轨道地基基础方案有 3 种。

1) 桩基础+轨道梁方案。现有集装箱码头堆场中, 轨道结构大部分采用桩基础+钢筋混凝土轨道梁结构^[3]。桩基础作为深基础, 适用于使用要求较高的建构筑物, 可以提供足够的承载能力, 地基沉降和差异沉降都很小。

桩基础的优点是: 能基本解决轨道自身的沉降问题, 技术成熟; 使用期基本没有沉降和不均匀沉降, 可基本保证轨道的长期正常使用, 可靠性高。

桩基础的缺点是: 由于在软土厚度较大的工程中使用, 大面积地基处理后道路和堆场仍会有较大的工后沉降和不均匀沉降。采用桩基础的轨道结构周边道路堆场会产生较大的不均匀沉降, 导致轨道附近堆场坡度变大、道路产生错台, 进而产生堆箱区平整度差、排水困难、堆箱倾斜、道路区产生跳车等问题, 影响道路和堆场的正常使用, 道路和堆场区域存在维修问题。桩基持力层一般较深、桩长较大, 工程造价较高、投资大。打桩时间较长, 总工期较长。

2) 复合地基+轨道梁方案^[4]。复合地基主要加固上部软弱土层, 可以提高地基承载力、减小地基沉降。对于采用排水固结法处理大面积地基的场地, 主要处理土层为淤泥和淤泥质土, 轨道二次地基处理可用复合地基方法, 常用的复合地基方法有水泥搅拌桩、高压旋喷桩、刚性桩。复合地基用于处理轨道基础具有工期短、效果好的特点, 可以有效减小轨道地基沉降和差异沉降。

水泥搅拌桩的特点是造价较低、施工速度快、工期短、成桩直径连续、质量稳定, 处理后的地基一般还会有一定的沉降, 但是工后沉降和差异沉降均较小, 可以满足轨道使用要求, 是最常用的二次地基处理方案。

高压旋喷桩、刚性桩等处理深度大、造价较高、施工难度较大，一般用于不具备搅拌桩实施条件的场地。

3) 扩大基础方案。弹性地基梁条形扩大基础和轨枕道砟基础均为扩大基础^[5-6]，采用天然地基，将工艺设备荷载通过基础扩散分布到面积较大的地基上，可以降低地基承载力要求和轨道基础变形，应选择整体性好、刚度大、协调不均匀沉降能力较强的结构形式。一般适用于地质条件良好的地基，扩大基础变形适应能力较好，当发生不均匀沉降后，主要通过调整道床高程来满足使用要求。

扩大基础的优点是不做深层地基处理、工程造价低、施工速度快、工期短，是最常用的设备基础形式，技术成熟、对地基沉降适应性好。

扩大基础的缺点是：地基工后沉降较大，难以长期满足轨道平整度的要求；荷载频繁作用会导致轨道发生较大的垂直及水平变形，需定期维护及维修，维护工作量大、维护费用较高，高频率维修会对码头运营产生较大不利影响；一般适用于沉降较小的场地，仅可调节轨道基座10 cm的高差，而在深厚软土地区的工后沉降量大多超过10 cm，难以满足较大工后沉降调整的需求。

2.2 方案比选

本工程堆场通过换填碎石垫层等方式进行了大面积地基处理，地基承载力可以满足轨道要求，但是工后沉降仍然较大、使用期维护工程量较大、桩基础造价较高、与周边差异沉降较大。采用复合地基对轨道基础进行二次处理，轨道基础的沉降基本可以满足使用要求，建设成本也相对较低，尤其是当轨道与港区道路存在平面交叉时可以控制好轨道与道路的差异沉降，达到综合效益最佳的效果。

经过综合比较，推荐选用桩基轨道梁基础、复合地基轨道梁基础。

2.3 复合地基二次处理的特点

竖向增强体和原状土体联合形成复合稳定地基，具有一定的刚度，可以承担工艺设备的竖向荷载。

采用复合地基处理过的轨道基础，地基沉降

比桩基础大、比扩大基础小，工后沉降可以控制在10 cm以内、差异沉降在5 cm以内，短期内不会出现沉降较大需要维修的情况，维修频率较低、维护费用较低，对堆场正常运营影响小。

通过采用可调节轨道基座系统对10 cm以内的竖向不均匀沉降进行调节，在使用期内基本不会出现地基沉降问题。

轨道地基与道路、堆场使用期差异沉降较小，通过在与轨道平交的道路上设置过渡段，可进一步减小地基差异沉降，使用期维修工程量低，良好的地基处理质量和合理的结构措施可以基本消除错台和跳车的现象。

复合地基和钢筋混凝土轨道结构技术成熟，造价在桩基础和天然地基之间。

3 轨道地基处理方案

大面积地基处理采用真空预压法，施工期地基平均沉降约1.49 m，卸载前15 d内平均沉降速率基本在1 mm/d以内。根据实测数据，地基处理后的陆域工后平均沉降约10 cm，局部监测点显示地基工后沉降可达20 cm，能够满足港口道路和堆场的使用要求。

道路区域使用期荷载较小，主要为路面结构自重力和车辆荷载，工后沉降3~9 cm，平均约6 cm，基本在10 cm以内。

3.1 堆场段轨道地基基础方案

堆场段轨道基础采用现浇钢筋混凝土地基梁，结构为现浇C40钢筋混凝土倒T形梁(顶宽0.8 m、底宽1.7 m、高1.5 m)，下设10 cm厚C15贫混凝土垫层+20 cm厚碎石褥垫层。见图1。

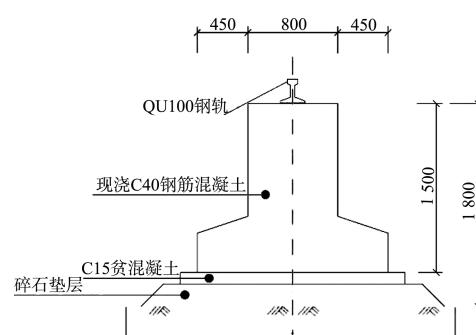


图1 堆场段轨道基础结构(单位：mm)

对堆场段轨道梁基础采用水泥搅拌桩进行二次处理。搅拌桩直径 600 mm, 桩底要求打穿上部软土层。搅拌桩垂直于轨道方向搅拌桩按相切布置 3 根, 间距 0.6 m, 沿轨道梁方向桩间距 1.2 m。见图 2。

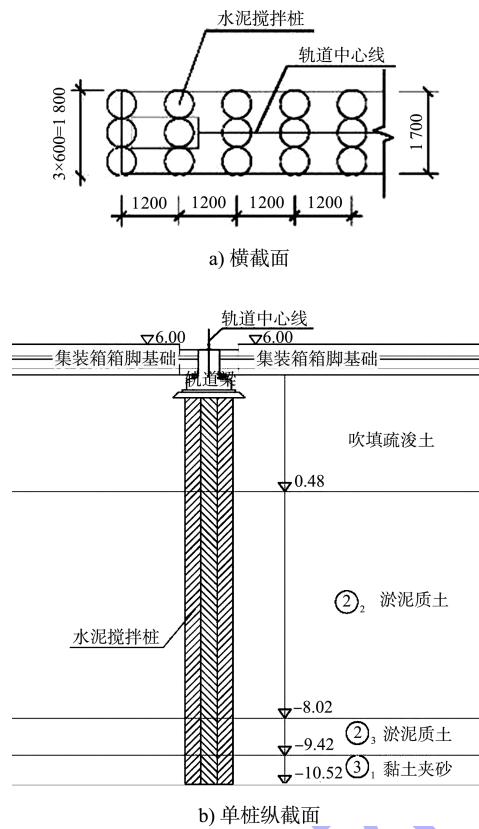


图 2 堆场段轨道基础搅拌桩位布置 (高程: m; 尺寸: mm)

3.2 过路段轨道地基基础方案

过路段轨道基础采用现浇钢筋混凝土轨道板, 结构为现浇 C40 钢筋混凝土板 (宽 4.0 m、高 0.8 m), 下设 10 cm 厚贫混凝土垫层 +20 cm 厚碎石褥垫层。见图 3。

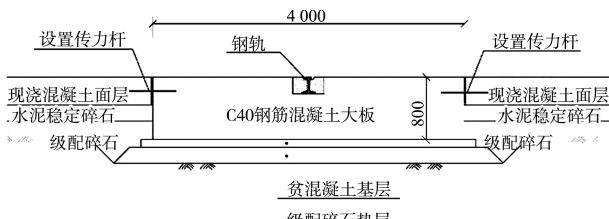


图 3 过路段轨道基础结构

轨道梁采用轨道板结构, 宽度 4 m, 进一步减小地基附加应力和地基沉降, 并与混凝土路面通过传力杆连接, 缓和过渡了道路与轨道差异沉降

引起的路面纵坡突变, 消除错台和跳车现象。

堆场段轨道基础搅拌桩地基处理设计参数: 1) 过路段轨道基础。搅拌桩间距 $1.4 \text{ m} \times 1.4 \text{ m}$, 正方形布置。见图 4。2) 道路过渡段。轨道梁两侧, 道路范围内扩大处理 5 排搅拌桩, 间距 $1.4 \text{ m} \times 1.4 \text{ m}$, 正方形布置。过渡段搅拌桩桩长依次减少 2 m。

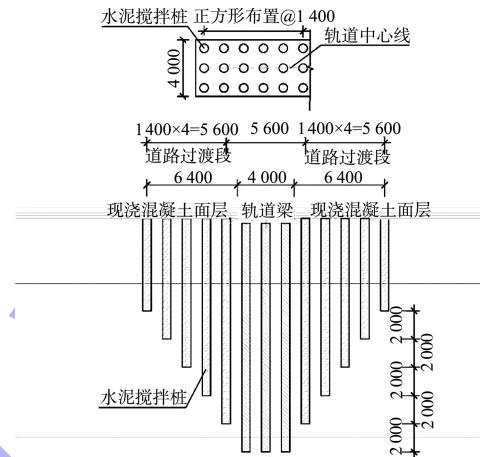


图 4 过路段轨道基础搅拌桩位布置 (单位: mm)

3.3 可调节轨道系统

经过搅拌桩处理后的地基仍有一定的沉降, 采用可调节轨道基础。在地基梁上增加可调节支座, 通过调节支座达到协调不均匀沉降、保证轨道正常使用的目的。

采用可调节轨道基础, 可以对 10 cm 以内的竖向不均匀沉降进行调节。

4 计算结果

经过水泥搅拌桩二次处理, 堆场区轨道结构使用期沉降为 3~8 cm、平均约 6 cm, 可以满足轨道结构对沉降和差异沉降的要求。

道路区轨道结构使用期平均沉降为 3~6 cm, 平均约 4 cm; 道路区域工后沉降约为 6 cm, 道路与轨道结构的差异沉降基本在 3 cm 以内。通过在轨道两侧道路范围内设置长度 6.4 m 的水泥搅拌桩二次处理过渡段, 可以进一步减小差异沉降, 保证地基变形过渡平稳、行车平稳。

根据计算结果, 复合地基处理轨道基础可以满足轨道使用要求。

(下转第 128 页)